

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Solar**

##### **1. Pengertian Bahan Bakar Minyak Solar**

Minyak solar ialah fraksi minyak bumi berwarna kuning coklat yang jernih yang mendidih sekitar 175-370° C dan yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Umumnya, solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini biasa disebut juga *Gas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel*.

##### **2. Sifat Bahan Bakar Minyak Solar**

Diantara sifat-sifat bahan bakar solar yang terpenting ialah kualitas penyalan, volatilitas, viskositas, titik tuang dan titik kabut.

###### **a. Kualitas penyalan**

Kualitas penyalan bahan bakar solar yang berhubungan dengan kelambatan penyalan, tergantung kepada komposisi bahan bakar. Kualitas bahan bakar solar dinyatakan dalam angka cetan, dan dapat diperoleh dengan jalan membandingkan kelambatan menyala bahan bakar solar dengan kelambatan menyala bahan bakar pembanding (*reference fuels*) dalam mesin uji baku CFR (ASTM D 613-86). Sebagai

bahan bakar pembanding digunakan senyawa hidrokarbon cetan atau n-heksadekan ( $C_{16}H_{34}$ ), yang mempunyai kelambatan penyalaan yang pendek dan heptametilnonan (isomer cetan) yang mempunyai kelambatan penyalaan relatif panjang.

#### **b. Volatilitas**

Volatilitas bahan bakar diesel yang merupakan faktor yang penting untuk memperoleh pembakaran yang memuaskan dapat ditentukan dengan uji distilasi ASTM (ASTM D 86-90). Makin tinggi titik didih atau makin berat bahan bakar diesel, makin tinggi nilai kalor untuk setiap galonnya dan makin diinginkan dari segi ekonomi. Tetapi hidrokarbon berat merupakan sumber asap dan endapan karbon serta dapat mempengaruhi operasi mesin. Sehingga bahan bakar diesel harus mempunyai komposisi yang berimbang antara fraksi ringan dan fraksi berat agar diperoleh volatilitas yang baik.

#### **c. Viskositas**

Viskositas bahan bakar solar perlu dibatasi. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak akan menumbuk dinding dan membentuk karbon atau mengalir menuju ke karter dan mengencerkan minyak karter.

**d. Titik tuang dan titik kabut**

Bahan bakar solar harus dapat mengalir dengan bebas pada suhu atmosfer terendah dimana bahan bakar ini digunakan. Suhu terendah dimana bahan bakar solar masih dapat mengalir disebut titik tuang. Pada suhu sekitar 10° F diatas titik tuang, bahan bakar solar dapat berkabut dan hal ini disebabkan oleh pemisahan kristal malam yang kecil-kecil. Suhu ini dikenal dengan nama titik kabut. Karena kristal malam dapat menyumbat saringan yang digunakan dalam system bahan bakar mesin diesel, maka seringkali titik kabut lebih berarti dari pada titik tuang.

**e. Sifat-sifat lain**

Sifat-sifat bahan bakar solar lainnya yang perlu juga diperhatikan ialah kebersihan, kecenderungan bahan bakar untuk memberikan endapan karbon dan kadar belerang. Bahan bakar solar harus bebas dari kotoran seperti air dan pasir. Adanya pasir yang sangat halus yang terikut bahan bakar solar dapat mengakibatkan keausan bagian injektor bahan bakar. Kadar abu dalam bahan bakar merupakan ukuran sifat abrasi bahan bakar.

Kecenderungan bahan bakar solar untuk memberikan endapan karbon dan asap dalam gas buang dapat ditunjukkan dengan uji sisa karbon. Belerang dalam bahan bakar solar dapat mengakibatkan korosi pada sistem injeksi bahan bakar dan setelah pembakaran dapat mengakibatkan korosi pada cincin torak, silinder, bantalan dan sistem pembuangan gas buang.

### 3. Klasifikasi Bahan Bakar Minyak Solar

ASTM membagi bahan bakar solar menjadi tiga grade, yaitu:

- Grade No.1-D : suatu bahan bakar distilat ringan yang mencakup sebagian fraksi kerosin dan sebagian fraksi minyak gas, digunakan untuk mesin diesel otomotif dengan kecepatan tinggi.
- Grade No.2-D : suatu bahan bakar distilat tengahan bagi mesin diesel otomotif, yang dapat juga digunakan untuk mesin diesel bukan otomotif, khususnya dengan kecepatan dan beban yang sering berubah-ubah.
- Grade No.4-D : suatu bahan bakar distilat berat atau campuran antara siatilat dengan minyak residu, untuk mesin diesel bukan otomotif dengan kecepatan rendah dengan kondisi kecepatan dan beban tetap.<sup>13</sup>

### 4. Spesifikasi Mutu Bahan Bakar Minyak Solar

Bahan bakar minyak yang dipasarkan harus memenuhi persyaratan teknis tertentu sesuai dengan kebutuhan penggunaannya yang disebut dengan spesifikasi. Dalam hal ini spesifikasi teknis bahan bakar sama di setiap Negara tergantung dari jenis dan tipe kendaraan. Spesifikasi nasional di setiap negara dapat sedikit berbeda, karena perbedaan kondisi negara tersebut, seperti jenis dan populasi kendaraan, ketersediaan minyak bumi sebagai bahan baku, kemampuan kilang, sistem distribusi, faktor ekonomis dan peraturan keselamatan kerja dan lingkungan.

---

<sup>13</sup>A. Hardjono. 2007. *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: Gajah Mada University press. Hal. 87-96.

Bahan bakar kendaraan bermotor yang dalam hal ini bahan bakar minyak solar untuk kendaraan bermesin penyalan kompresi (*compression ignition engine*) yang beredar di pasaran di Indonesia diatur dan dibatasi dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh pemerintah (Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi).

Bahan bakar minyak solar untuk kendaraan bermotor yang beredar dipasaran baik di Indonesia dan beberapa negara lain, sebagai berikut:

**a. Solar 48**

Bahan bakar solar 48 adalah bahan bakar yang mempunyai angka setana CN (*Cetane Number*) minimal 48. Mutu solar 48 ini dipasaran di Indonesia dibatasi dengan spesifikasi bahan bakar minyak solar jenis 48 sesuai dengan surat keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor 3675K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006. Spesifikasi minyak solar 48 ditampilkan pada tabel 2.1.

**b. Solar 51**

Bahan bakar minyak solar 51 adalah bahan bakar minyak solar yang mempunyai angka setana minimal 51 dengan kadar sulfur lebih sedikit dibanding solar 48. Kandungan sulfur solar 51 ini maksimal 0,05 % m/m atau 500 ppm sedang solar 48 maksimal 0,35 %m/m atau 3500 ppm. Mutu minyak solar 51 di pasaran di Indonesia dibatasi dengan spesifikasi bahan bakar minyak solar jenis 51 sesuai dengan surat keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi

No.3675K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006. Spesifikasi minyak solar 51 ditampilkan pada tabel 2.2.

## 5. Spesifikasi Minyak Solar di Beberapa Negara

Spesifikasi *World Wide Fuel Charter* (WWFC) disajikan dalam tabel 2.3, Tabel 2.4, tabel 2.5 dan tabel 2.6. WWFC membagi bahan bakar diesel atas 4 kategori, yaitu Kategori 1, Kategori 2, Kategori 3 dan Kategori 4. Kategori 1 mempunyai mutu paling rendah dan Kategori 4 bermutu paling tinggi. WWFC membatasi kandungan sulfur dalam bahan bakar diesel untuk Kategori 1 maksimum 0,3 %m (3000 ppm), Kategori 2 maksimum 0,03 %m (300 ppm), Kategori 3 maksimum 0,003 %m (30 ppm) dan Kategori 4 bebas sulfur, lubrisitas dibatasi maksimum 400 mikron.

**Tabel 2.1. Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 48 <sup>1)</sup>**

| Karakteristik                   | Unit               | Batasan |   | Metode Uji ASTM/Lain                 |
|---------------------------------|--------------------|---------|---|--------------------------------------|
|                                 |                    | Minimum | Maksimum  |                                      |
| Angka Setana                    |                    | 48      | -   | D 613                                |
| Indeks Setana                   |                    | 45      | -   | D 4737                               |
| Berat Jenis pada 15 °C          | Kg/m <sup>3</sup>  | 815     | 870   | D 1298/ D 4052                       |
| Viskositas pada 40 °C           | mm <sup>2</sup> /s | 2.0     | 5.0   | D 445                                |
| Kandungan Sulfur                | % m/m              | -       | 0.35 <sup>2)</sup><br>0.30 <sup>3)</sup><br>0.25 <sup>4)</sup><br>0.05 <sup>5)</sup><br>0.005 <sup>6)</sup> | D 2622<br>D 5453<br>D 4294<br>D 7039 |
| Distilasi:                      |                    |         |   | D 86                                 |
| T 90                            | °C                 | -       | 370   |                                      |
| Titik Nyala                     | °C                 | 52      | -   | D 93                                 |
| Titik Tuang                     | °C                 | -       | 18  | D 97                                 |
| Residu Karbon                   | % m/m              | -       | 0.1   | D 4530                               |
| Kandungan Air                   | mg/kg              | -       | 500   | D 1744                               |
| Biological Growth <sup>*)</sup> | -                  | Nihil   |   |                                      |
| Kandungan FAME <sup>*)</sup>    | % v/v              | -       | 10  |                                      |

|  |          |                   |                   |        |
|--|----------|-------------------|-------------------|--------|
| Kandungan Metanol dan Etanol <sup>*)</sup> | % v/v    | Tak terdeteksi    |                   | D 4815 |
| Korosi Bilah Tembaga                       | merit    | -                 | Kelas 1           | D 130  |
| Kandungan Abu                              | % m/m    | -                 | 0.01              | D 482  |
| Kandungan Sedimen                          | % m/m    | -                 | 0.01              | D 473  |
| Bilangan Asam Kuat                         | mg KOH/g | -                 | 0                 | D 664  |
| Bilangan Asam Total                        | mg KOH/g | -                 | 0.6               | D 664  |
| Partikulat                                 | mg/l     | -                 | -                 | D 2276 |
| Penampilan Visual                          | -        | Jernih dan Terang |                   |        |
| Warna                                      | No. ASTM | -                 | 3.0               | D 1500 |
| Lubricity (HFFR wear scar dia. @ 60        | micron   | -                 | 460 <sup>7)</sup> | D 6079 |

<sup>\*)</sup> Kandungan FAME mengacu pada peraturan Menteri ESDM No. 25 Tahun 2013 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain.

- 1) Menurut SK Dirjen Migas No.978K/10/DJM/2013 tanggal 19 November 2013
- 2) Batasan 0.35% setara dengan 3500 ppm, berlaku pada tahun 2015.
- 3) Batasan 0.30% setara dengan 3000 ppm, berlaku mulai 1 januari 2016.
- 4) Batasan 0.25 % setara dengan 2500 ppm, berlaku mulai 1 januari 2017.
- 5) Batasan 0.05% setara dengan 500 ppm, berlaku mulai 1 januari 2021.
- 6) Batasan 0.005% setara dengan 50 ppm, berlaku mulai 1 januari 2025.
- 7) Berlaku mulai 1 januari 2016.

Catatan umum:

- 1 Aditif harus *compatible* dengan minyak mesin (tidak menambah kotoran mesin/kerak)  
Aditif yang mengandung komponen pembentuk debu (ash forming) tidak diperbolehkan.
- 2 Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain,dll).
- 3 Pelabelan pada pompa harus memadai dan terdeteksi

**Tabel 2.2. Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Solar 51 <sup>1)</sup>**

| Karakteristik                     | Unit               | Batasan           |                    | Metode Uji ASTM/Lain |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
|                                   |                    | Minimum           | Maksimum           |                      |
| Angka Setana                      |                    | 51                | -                  | D 613                |
| Indeks Setana                     |                    | 48                | -                  | D 4737/ D 976        |
| Berat Jenis pada 15 °C            | Kg/m <sup>3</sup>  | 820               | 860                | D 1298/ D 4052       |
| Viskositas pada 40 °C             | mm <sup>2</sup> /s | 2.0               | 4.5                | D 445                |
| Kandungan Sulfur                  | % m/m              | -                 | 0.05 <sup>2)</sup> | D 2622               |
| Distilasi:                        |                    |                   |                    | D 86                 |
| T 90                              | °C                 | -                 | 340                |                      |
| T 95                              | °C                 | -                 | 360                |                      |
| Titik Didih Akhir                 | °C                 | -                 | 370                |                      |
| Titik Nyala                       | °C                 | 55                | -                  | D 93                 |
| Titik Tuang                       | °C                 | -                 | 18                 | D 97                 |
| Residu Karbon                     | % m/m              | -                 | 0.30               | D 4530               |
| Kandungan Air                     | mg/kg              | -                 | 500                | D 1744               |
| Stabilitas Oksidasi               | g/m <sup>3</sup>   | -                 | 25                 | D 2274               |
| Biological Growth <sup>*)</sup>   | -                  | Nihil             |                    |                      |
| Kandungan FAME <sup>*)</sup>      | % v/v              | -                 | 10                 |                      |
| Kandungan Metanol dan Etanol      | % v/v              | Tak terdeteksi    |                    | D 4815               |
| Korosi Bilah Tembaga              | merit              | -                 | Kelas 1            | D 130                |
| Kandungan Abu                     | % m/m              | -                 | 0.01               | D 482                |
| Kandungan Sedimen                 | % m/m              | -                 | 0.01               | D 473                |
| Bilangan Asam Kuat                | mg KOH/g           | -                 | 0                  | D 664                |
| Bilangan Asam Total               | mg KOH/g           | -                 | 0.3                | D 664                |
| Partikulat                        | mg/l               | -                 | 10                 | D 2276               |
| Lubrisitas (HFRR scar dia @ 60°C) | mikron             | -                 | 460                | D 6079               |
| Penampilan Visual                 | -                  | Jernih dan Terang |                    |                      |
| Warna                             | No. ASTM           | -                 | 3.0                | D 1500               |

<sup>\*)</sup> Khusus Minyak Solar yang mengandung Biodiesel, jenis dan spesifikasi Biodieselnnya mengacu ketetapan Pemerintah.

<sup>1)</sup> Menurut SK Dirjen Migas No.3675K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006

<sup>2)</sup> Batasan 0.05% setara dengan 500 ppm.

Catatan umum:

- 1 Aditif harus *compatible* dengan minyak mesin (tidak menambah kotoran mesin/kerak)

Aditif yang mengandung komponen pembentuk debu (ash forming) tidak diperbolehkan.



- 2 Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain,dll).
- 3 Pelabelan pada pompa harus memadai dan terdeteksi

**Tabel 2.3 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Kategori 1 World Wide Fuel Charter**

| Karakteristik                                    | Unit              | Batas   | Metode Uji                            |
|--|-------------------|---------|---------------------------------------|
| Densitas @ 15                                    | Kg/m <sup>3</sup> | 820-860 | ASTM D 4052                           |
| Angka Setana, min.                               |                   | 48      | ASTM D 613                            |
| Indeks setana, min.                              |                   | 45      | ASTM D 976                            |
| Viskositas kinematik @ 40                        | cSt               | 2,0-4,5 | ASTM D 445                            |
| Kandungan sulfur, maks.                          | %m                | 0,3     | ASTM D 2622                           |
| Kandungan aromatik total, maks                   | %vol              |         | ASTM D 5186                           |
| Kandungan poli-aromatik, maks.                   | %vol              |         | ASTM D 2425                           |
| Destilasi: T90, maks.                            | %vol              |         | ASTM D 86                             |
| T95, maks.                                       | %vol              | 370     |                                       |
| FBP, maks  | %vol              |         |                                       |
| Titik nyala, PMCC, min.                          |                   | 55      | ASTM D 5186                           |
| Residu karbon, maks.                             | % m               | 0,30    | ASTM D 4530                           |
| Kandungan air, maks.                             | %vol              | 0,05    | ASTM D 1744                           |
| Stabilitas oksidasi, maks.                       | g/m <sup>3</sup>  | 25      | ASTM D 2274                           |
| <i>Biological Growth</i> , maks.                 |                   | Zero    |                                       |
| Kandungan FAME, maks.                            | % vol             | 5       |                                       |
| Titik tuang, maks.                               |                   |         | ASTM D 97                             |
| <i>Ash content</i> , maks.                       | % m               | 0.01    | ASTM D 482                            |
| Netralisasi:                                     |                   |         | ASTM D 664                            |
| Bilangan asam, maks.                             | mgKOH/g           |         |                                       |
| Bilangan asam total, maks.                       | mgKOH/g           |         |                                       |
| Penampilan visual                                |                   | Jernih  |                                       |
| Korosi bilah tembaga                             | ASTM No           | No. 1   | ASTM D 130                            |
| Korosi besi, maks.                               |                   | Light   |                                       |
| Kandungan etanol/metanol,maks                    | % vol             | Nd      |                                       |
| Partikulat, maks.                                | mg/l              | 10      |                                       |
| <i>Injector Clearlines</i> , maks.               | % air flow loss   |         | CEC (PF-023)                          |
| Lubrisitas (HFFR wear scar diameter @60 ), maks. | mikron            | 400     | TBA<br>CEC F-06-A<br>atau ASTM D 6079 |

**Tabel 2.4 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Kategori 2 World Wide Fuel Charter**

| Karakteristik                                    | Unit              | Batas   | Metode Uji                            |
|--|-------------------|---------|---------------------------------------|
| Densitas @ 15                                    | Kg/m <sup>3</sup> | 820-850 | ASTM D 4052                           |
| Angka Setana, min.                               |                   | 53      | ASTM D 613                            |
| Indeks setana, min.                              |                   | 50      | ASTM D 976                            |
| Viskositas kinematik @ 40                        | cSt               | 2,0-4,0 | ASTM D 445                            |
| Kandungan sulfur, maks.                          | %m                | 0,03    | ASTM D 2622                           |
| Kandungan aromatik total, maks                   | %vol              | 25      | ASTM D 5186                           |
| Kandungan poli-aromatik, maks.                   | %vol              | 5       | ASTM D 2425                           |
| Destilasi: T90, maks.                            | %vol              | 340     | ASTM D 86                             |
| T95, maks.                                       | %vol              | 355     |                                       |
| FBP, maks  | %vol              | 365     |                                       |
| Titik nyala, PMCC, min.                          |                   | 55      | ASTM D 5186                           |
| Residu karbon, maks.                             | % m               | 0,30    | ASTM D 4530                           |
| Kandungan air, maks.                             | %vol              | 0,02    | ASTM D 1744                           |
| Stabilitas oksidasi, maks.                       | g/m <sup>3</sup>  | 25      | ASTM D 2274                           |
| <i>Biological Growth</i> , maks.                 |                   | Zero    |                                       |
| Kandungan FAME, maks.                            | % vol             | 5       |                                       |
| Titik tuang, maks.                               |                   |         | ASTM D 97                             |
| <i>Ash content</i> , maks.                       | % m               | 0.01    | ASTM D 482                            |
| Netralisasi:                                     |                   |         | ASTM D 664                            |
| Bilangan asam, maks.                             | mgKOH/g           |         |                                       |
| Bilangan asam total, maks.                       | mgKOH/g           | 0,08    |                                       |
| Penampilan visual                                |                   | Jernih  |                                       |
| Korosi bilah tembaga                             | ASTM No           | No. 1   | ASTM D 130                            |
| Korosi besi, maks.                               |                   | Light   |                                       |
| Kandungan etanol/metanol, maks                   | % vol             | Nd      |                                       |
| Partikulat, maks.                                | mg/l              | 10      |                                       |
| <i>Injector Clearlines</i> , maks.               | % air flow loss   | 85      | CEC (PF-023)                          |
| Lubrisitas (HFFR wear scar diameter @60 ), maks. | mikron            | 400     | TBA<br>CEC F-06-A<br>atau ASTM D 6079 |

**Tabel 2.5 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Kategori 3 World Wide Fuel Charter**

| Karakteristik                                      | Unit              | Batasan | Metode Uji                            |
|--|-------------------|---------|---------------------------------------|
| Densitas @ 15                                      | Kg/m <sup>3</sup> | 820-840 | ASTM D 4052                           |
| Angka Setana, min.                                 |                   | 55      | ASTM D 613                            |
| Indeks setana, min.                                |                   | 52      | ASTM D 976                            |
| Viskositas kinematik @ 40                          | cSt               | 2,0-4,0 | ASTM D 445                            |
| Kandungan sulfur, maks.                            | %m                | 0,003   | ASTM D 2622                           |
| Kandungan aromatik total, maks                     | %vol              | 15      | ASTM D 5186                           |
| Kandungan poli-aromatik, maks.                     | %vol              | 2,0     | ASTM D 2425                           |
| Destilasi: T90, maks.                              | %vol              | 320     | ASTM D 86                             |
| T95, maks.   | %vol              | 340     |                                       |
| FBP, maks  | %vol              | 350     |                                       |
| Titik nyala, PMCC, min.                            |                   | 55      | ASTM D 5186                           |
| Residu karbon, maks.                               | % m               | 0,20    | ASTM D 4530                           |
| Kandungan air, maks.                               | %vol              | 0,02    | ASTM D 1744                           |
| Stabilitas oksidasi, maks.                         | g/m <sup>3</sup>  | 25      | ASTM D 2274                           |
| <i>Biological Growth</i> , maks.                   |                   | Zero    |                                       |
| Kandungan FAME, maks.                              | % vol             | 5       |                                       |
| Titik tuang, maks.                                 |                   |         | ASTM D 97                             |
| <i>Ash content</i> , maks.                         | % m               | 0.01    | ASTM D 482                            |
| Netralisasi:                                       |                   |         | ASTM D 664                            |
| Bilangan asam, maks.                               | mgKOH/g           |         |                                       |
| Bilangan asam total, maks.                         | mgKOH/g           | 0,08    |                                       |
| Penampilan visual                                  |                   | Jernih  |                                       |
| Korosi bilah tembaga                               | ASTM No           | No. 1   | ASTM D 130                            |
| Korosi besi, maks.                                 |                   | Light   |                                       |
| Kandungan etanol/metanol,maks                      | % vol             | Nd      |                                       |
| Partikulat, maks.                                  | mg/l              | 10      |                                       |
| <i>Injector Clearlines</i> , maks.                 | % air flow loss   | 85      | CEC (PF-023)                          |
| Lubrisitas (HFFR wear scar diameter @60   ), maks. | mikron            | 400     | TBA<br>CEC F-06-A<br>atau ASTM D 6079 |

**Tabel 2.6 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Kategori 4 World Wide Fuel Charter**

| Karakteristik                                    | Unit              | Batasan | Metode Uji                            |
|--|-------------------|---------|---------------------------------------|
| Densitas @ 15                                    | Kg/m <sup>3</sup> | 820-840 | ASTM D 4052                           |
| Angka Setana, min.                               |                   | 55      | ASTM D 613                            |
| Indeks setana, min.                              |                   | 52      | ASTM D 976                            |
| Viskositas kinematik @ 40                        | cSt               | 2,0-4,0 | ASTM D 445                            |
| Kandungan sulfur, maks.                          | %m                | free    | ASTM D 2622                           |
| Kandungan aromatik total, maks                   | %vol              | 15      | ASTM D 5186                           |
| Kandungan poli-aromatik, maks.                   | %vol              | 2,0     | ASTM D 2425                           |
| Destilasi: T90, maks.                            | %vol              | 320     | ASTM D 86                             |
| T95, maks.                                       | %vol              | 340     |                                       |
| FBP, maks  | %vol              | 350     |                                       |
| Titik nyala, PMCC, min.                          |                   | 55      | ASTM D 5186                           |
| Residu karbon, maks.                             | % m               | 0,20    | ASTM D 4530                           |
| Kandungan air, maks.                             | %vol              | 0,02    | ASTM D 1744                           |
| Stabilitas oksidasi, maks.                       | g/m <sup>3</sup>  | 25      | ASTM D 2274                           |
| <i>Biological Growth</i> , maks.                 |                   | Zero    |                                       |
| Kandungan FAME, maks.                            | % vol             | nd      |                                       |
| Titik tuang, maks.                               |                   |         | ASTM D 97                             |
| <i>Ash content</i> , maks.                       | % m               | 0.01    | ASTM D 482                            |
| Netralisasi:                                     |                   |         | ASTM D 664                            |
| Bilangan asam, maks.                             | mgKOH/g           |         |                                       |
| Bilangan asam total, maks.                       | mgKOH/g           | 0,08    |                                       |
| Penampilan visual                                |                   | Jernih  |                                       |
| Korosi bilah tembaga                             | ASTM No           | No. 1   | ASTM D 130                            |
| Korosi besi, maks.                               |                   | Light   |                                       |
| Kandungan etanol/metanol, maks                   | % vol             | Nd      |                                       |
| Partikulat, maks.                                | mg/l              | 10      |                                       |
| <i>Injector Clearlines</i> , maks.               | % air flow loss   | 85      | CEC (PF-023)                          |
| Lubrisitas (HFFR wear scar diameter @60 ), maks. | mikron            | 400     | TBA<br>CEC F-06-A<br>atau ASTM D 6079 |

Spesifikasi Uni Eropa atau EURO dapat dilihat dalam tabel

2.7. Pada spesifikasi EURO bahan bakar diesel dibagi atas 3 jenis, yaitu EURO II, EURO III dan EURO IV. EURO II mempunyai mutu paling rendah dan EURO IV bermutu paling tinggi. Kandungan sulfur menurut EURO dibatasi untuk EURO II maksimum 0,20% m (2000 ppm), EURO

III maksimum 0,035%*m* (350 ppm) dan EURO IV maksimum 0,005%*m* (50 ppm). Pada spesifikasi EURO tidak dijumpai pembatasan lubrisitas bahan bakar diesel.

Spesifikasi bahan bakar diesel Amerika Serikat (ASTM D 975) disajikan dalam tabel 2.8. Amerika Serikat membagi bahan bakar diesel atas 3 jenis, ASTM D-1, ASTM D-2 dan ASTM D-4. Pembatasan kandungan sulfur untuk jenis ASTM D-1 dan D-2 maksimum 0,05%*m* (500 ppm), sedangkan untuk ASTM D-4 tidak ada batasan. Pada ASTM D 975 tidak ada pembatasan lubrisitas bahan bakar diesel.

Spesifikasi bahan bakar diesel Jepang (JIS K2204) disajikan dalam tabel 2.9. Di Jepang terdapat 5 jenis bahan bakar diesel yang dibagi menurut iklim, yaitu Summer (1 jenis Sp. No. 1), Winter (2 jenis No. 1 dan No. 2) dan Northem Part (2 jenis No. 2 dan No. 3) Kandungan sulfur untuk semua jenis dibatasi maksimum 0.05%*m* (500 ppm). Dalam JIS K2204 tidak ada batasan lubrisitas bahan bakar diesel.

**Tabel 2.7 Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Menurut EURO**

| Karakteristik                  | unit              | EURO    |       |         | Metode Uji  |
|--------------------------------|-------------------|---------|-------|---------|-------------|
|                                |                   | II      | III   | IV      |             |
| Densitas @ 15 °C, maks         | Kg/m <sup>3</sup> | 820-860 | 845   | 845     | ASTM D 4052 |
| Angka Setana, min.             |                   | 49      | 51    | 51      | ASTM D 613  |
| Kandungan sulfur, maks.        | % <i>m</i>        | 0,20    | 0.035 | 0,005*) | ASTM D 2622 |
| Kandungan poli-aromatik, maks. | % <i>vol</i>      | N/A     | 11    | 11      | ASTM D 2425 |
| Destilasi:.                    |                   |         |       |         | ASTM D 86   |
| T95, maks.                     |                   | 370     | 360   | 360     |             |
| <i>Ash content</i> , maks.     | % <i>m</i>        | 0,01    | 0.01  | 0,01    | ASTM D 482  |
| Korosi bilah tembaga           | ASTM No           | No.3    | No.3  | -       | ASTM D 130  |

**Tabel 2.8. Spesifikasi Bahan Bakar Diesel USA**

| Karakteristik                 | Unit  | Amerika Serikat ASTM D 975 |         |        | Metode Uji  |
|-------------------------------|-------|----------------------------|---------|--------|-------------|
|                               |       | 1-D                        | 2-D     | 4-D    |             |
| Cetane Number, min            |       | 40                         | 40      | 30     | ASTM D 613  |
| Calculated Cetane Index, min  |       | 35                         | 35      | -      | ASTM D 976  |
| Kinematic Viscosity at 40 °C  | cST   | 1,3-2,4                    | 1,9-4,1 | 5,5-24 | ASTM D 445  |
| Sulfur Content, max           | % m   | 0,05                       | 0,05    | -      | ASTM D 1552 |
| Total Aromatics, max          | % vol | 35                         | 35      | -      | ASTM D 5186 |
| Distillation: T 90, max       | °C    | 288                        | 282-338 | -      | ASTM D 86   |
| Flash Point, PMcc, min        | °C    | 38                         | 52      | 55     | ASTM D 93   |
| Conradson Carbon Residue, max | % vol | 0,15                       | 0,35    | 0,35   | ASTM D 189  |
| Water & sediment content, max | % vol | 0,05                       | 0,05    | -      | ASTM D 473  |
| Ash Content, max              | % m   | 0,01                       | 0,01    | 0.10   | ASTM D 482  |
| Copper Strip Corrosion        | No.   | No.3                       | No.3    | -      | ASTM D 130  |

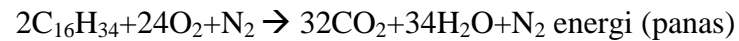
**Tabel 2.9. Spesifikasi Bahan Bakar Diesel Jepang**

| Karakteristik                    | Unit     | Amerika Serikat ASTM D 975 |        |      |                  |      | Metode Uji     |
|----------------------------------|----------|----------------------------|--------|------|------------------|------|----------------|
|                                  |          | Sum<br>mer                 | Winter |      | Northern<br>Part |      |                |
|                                  |          | No 1                       | No.1   | No.2 | No.2             | No.3 |                |
| Cetane Number,<br>min            |          | -                          | -      | -    | -                | -    | ASTM D 613     |
| Calculated Cetane<br>Index, min  |          | 50                         | 50     | 45   | 45               | 45   | ASTM D 976     |
| Kinematic<br>Viscosity at 15 °C  | cST      | 2,7                        | 2,7    | 2,0  | 2,0              | 1,7  | ASTM D 445     |
| Sulfur Content,<br>max           | % m      | 0,05                       | 0,05   | 0,05 | 0,05             | 0,05 | ASTM D<br>1552 |
| Total Aromatics<br>content, max  | %<br>vol |                            |        |      |                  |      | ASTM D<br>5186 |
| Polyaromatics<br>content, max    | %<br>vol | N/A                        | 11     |      | 11               |      | ASTM D<br>2425 |
| Flash Point, PMcc,<br>min        | °C       | 50                         | 50     | 50   | 50               | 50   | ASTM D 93      |
| Conradson Carbon<br>Residue, max | % m      | 0,1                        | 0,1    | 0,1  | 0,1              | 0,1  | ASTM D 189     |
| Pour point, max                  | °C       | 5                          | -2,5   | -7,5 | -20              | -30  | ASTM D 97      |

## 6. Proses Pembakaran Solar

### a. Pembakaran sempurna

Reaksi yang terjadi dalam proses pembakaran adalah:



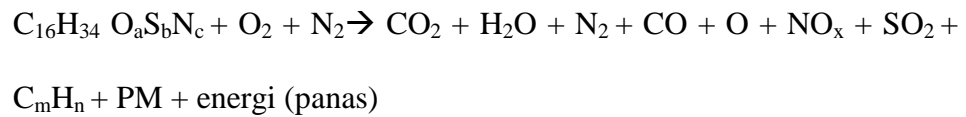
Reaksi pembakaran diatas disebut dengan pembakaran sempurna. Hasil pembakaran hanyalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ , sedangkan  $\text{N}_2$  memang sejak awal sudah terkandung diudara dan ikut masuk ke motor, tetapi tidak ikut bereaksi. Unsur ini hanya ikut menjadi panas, terkena panas pembakaran yang ditimbulkan dari terbakarnya hidrokarbon  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$  dengan  $\text{O}_2$ .

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$  dalah hasil reaksi dari proses pembakaran sempurna untuk selanjutnya disebut dengan “gas buang sempurna” yakni gas-gas buang dari suatu motor bakar (*tailpipe emission*= gas-gas knalpot).

### b. Pembakaran tidak sempurna

Hidrokarbon dari perut bumi tidaklah murni hanya C dan H saja, tetapi juga mengandung belerang, oksigen dan nitrogen serta beberapa unsur-unsur lain. Sementara keadaan pembakarannya didalam motor bakar yang terjadi pada suhu yang tinggi, tekanan yang tinggi dan waktu yang singkat ditambah lagi dengan beberapa keadaan lain sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya menjadi tidak sempurna.

Reaksinya menjadi sebagai berikut:



## B. Biodiesel

Biodiesel merupakan *biofuel* yang paling umum di Eropa. Biodiesel diproduksi dari minyak atau lemak menggunakan transesterifikasi dan merupakan cairan yang komposisinya mirip dengan diesel mineral. Nama kimianya adalah methyl asam lemak atau ethil ester (FAME). Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak nabati berbagai tumbuhan yang mengandung trigliserida. Minyak dicampur dengan sodium hidroksida dan methanol atau ethanol dan reaksi kimianya menghasilkan biodiesel (FAME) dan gliserol. Satu bagian gliserol dihasilkan untuk setiap 10 bagian biodiesel.

Biodiesel dapat digunakan di setiap mesin diesel yang dicampur dengan diesel mineral. Di beberapa negara produsen memberikan jaminan penggunaan 100% biodiesel. Kebanyakan produsen kendaraan membatasi rekomendasi mereka untuk penggunaan biodiesel sebanyak 15% yang dicampur dengan diesel mineral. Di kebanyakan negara Eropa, campuran biodiesel 5% banyak digunakan luas dan tersedia di banyak stasiun bahan bakar.

Sebagai bahan bakar pengganti diharapkan minyak nabati dapat menggantikan pemakaian bahan bakar diesel fosil dan sebagai pencampur diharapkan minyak nabati dapat digunakan dalam bentuk campuran dengan

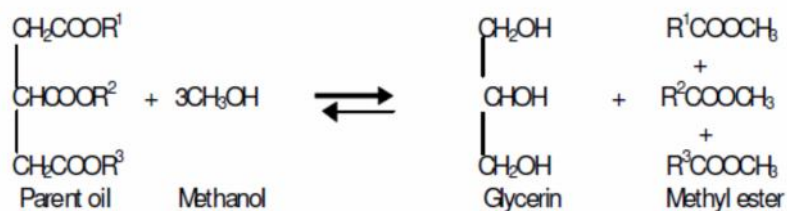


bahan bakar diesel fosil. Siklus hidup gas rumah kaca dari pembakaran biodiesel 55% lebih rendah dibandingkan dengan pada pembakaran bahan bakar diesel dari fosil. Biodiesel bisa digunakan dengan mudah karena dapat bercampur dengan segala komposisi dengan minyak solar, mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel yang ada hampir tanpa modifikasi, dapat terdegradasi dengan mudah (*biodegradable*), 10 kali tidak beracun dibanding minyak solar biasa, memiliki angka setana yang lebih baik dari minyak solar biasa, asap buangan biodiesel tidak hitam, tidak mengandung sulfur serta senyawa aromatik sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan ramah lingkungan serta tidak menambah akumulasi gas karbondioksida di atmosfer sehingga lebih jauh lagi mengurangi efek pemanasan global atau banyak disebut dengan zero CO<sub>2</sub> emission.

Proses transesterifikasi adalah proses mengkonversi satu ester menjadi ester lainnya, seperti ester gliserida menjadi ester alkil, dimana metanol atau etanol menggantikan gliserin. Diantara alkohol-alkohol yang biasa digunakan adalah metanol, karna harganya yang murah dan reaktifitasnya paling tinggi. Dalam proses transesterifikasi ini juga membutuhkan katalis yang pada umumnya bersifat basa, karena reaksi ini dapat mempercepat reaksi<sup>14</sup>. Secara umum reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:

---

<sup>14</sup> S Amin. 2007. *Cara Memproduksi Biodiesel Dari Berbagai Bahan Baku Nabati*. Serpong: BPPT PRESS dalam Sri Poernomo Sari dan Dian Permana Putra. 2012. *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel M30 Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis 0,25% Naoh Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel S-1110*. Universitas Guna Darma.



**Gambar 2.1 Metanolisis dari Triglicerida<sup>15</sup>**

## 1. Spesifikasi Biodiesel

Di bawah ini diuraikan spesifikasi biodiesel murni sesuai standar Amerika ASTM, standar Eropa dan Standar Nasional Indonesia.

### a. Spesifikasi ASTM

Mutu bahan bakar Biodiesel (B100) berdasarkan standar internasional ASTM dituangkan pada *Provisional Specification For Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels*, ASTM Designation PS 121-99. Standar mutu menurut ASTM tersebut ditampilkan pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10 ASTM Provisional Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, ASTM PS 121 - 99**

| No | Parameter                             | Satuan             | Spesifikasi |           | Metode Uji ASTM |
|----|---------------------------------------|--------------------|-------------|-----------|-----------------|
|    |                                       |                    | Min         | Maks      |                 |
| 1  | Titik Nyala (Mangkok Tertutup)        | °C                 | 100         |           | D 93            |
| 2  | Air dan Sedimen                       | %-vol              |             | 0,05      | D2709           |
| 3  | Viskositas Kinematik @ 40°C           | mm <sup>2</sup> /s | 1,9         | 6,0       | D445            |
| 4  | Abu Tersulfatkan                      | %-massa            |             | 0,02      | D874            |
| 5  | Belerang                              | %-massa            |             | 100       | D2622           |
| 6  | Korosi Lempeng Tembaga (3 jam @ 50°C) |                    |             | No.3      | D130            |
| 7  | Angka Setana                          | CN                 | 40          |           | D613            |
| 8  | Titik Kabut                           | °C                 |             | Report to | D2500           |

<sup>15</sup>Hossain A. B. M. S., Nasrulhaq Boyce A., Salleh A. and Chandran S. 2010. *Biodiesel production from waste soybean oil biomass as renewable energy and environmental recycled process*. Programme of Biotechnology, Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. Hal. 4234.

|    |   |              |  |          |       |
|----|---|--------------|--|----------|-------|
|    |   |              |  | customer |       |
| 9  | Residu Karbon<br>- Dalam 100% contoh asli | %-massa      |  | 0,05     | D4530 |
| 10 | Angka Asam                                | mg-<br>KOH/g |  | 0,8      | D664  |
| 11 | Gliserol Bebas                            | %-massa      |  | 0,02     | D6584 |
| 12 | Gliserol Total                            | %-massa      |  | 0,24     | D6584 |

### **b. Spesifikasi Eropa**

Spesifikasi internasional lain yang banyak diacu adalah standard Eropa. Standar Eropa yang juga merupakan British standard untuk *Automotive fuels–Fatty acid methyl ester* (FAME) untuk mesin Diesel dituangkan dalam spesifikasi Eropa EN 14214-2003, yang ditampilkan pada tabel 2.11.

### **c. Spesifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI)**

Standar mutu Biodiesel di Indonesia berdasarkan Standar Nasional Indonesia dituangkan dalam SNI 04-7182-2006 yang ditampilkan pada tabel 2.12. Biodiesel yang dimaksud dalam SNI 04-7182-2006 adalah ester alkil bisa metal, etil dan sejenisnya dari asam-asam lemak.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup>Lies Aisyah, Cahyo Setyo Wibowo, dan Ismoyo Suro Waskito. 2010. *Studi Peningkatan Mutu Biodiesel Dengan Penambahan Additive dalam Program Pembinaan Usaha Pertambangan Migas Nomor 04.06.02.8190.00047.D dan Nomor SK 069.K/73/BLB/2010*. Hal. 26-29.

**Tabel 2.11 Automotive Fuels–Fatty Acid Methyl Ester (FAME)  
untuk Mesin Diesel The European Standart EN 14214-  
2003**

| No | Parameter                                 | Satuan             | Spesifikasi |      | Metode Uji<br>ASTM               |
|----|---|--------------------|-------------|------|----------------------------------|
|    |   |                    | Min         | Maks |                                  |
| 1  | Kandungan Ester                           | %-massa            | 96,5        |      | EN 14103                         |
| 2  | Density @15 °C                            | kg/m <sup>3</sup>  | 860         | 900  | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185      |
| 3  | Viskositas Kinematik @ 40 °C              | mm <sup>2</sup> /s | 3,50        | 5,0  | EN ISO 3104                      |
| 4  | Titik Nyala (Mangkok Tertutup)            | °C                 | 120         |      | prEN ISO 3679                    |
| 5  | Kandungan Belerang                        | mg/kg              |             | 10,0 | prEN ISO 20846<br>prEN ISO 20884 |
| 6  | Residu Karbon<br>- Dalam 100% contoh asli | %-massa            |             | 0,3  | EN ISO 10370                     |
| 7  | Angka Setana                              | CN                 | 51          |      | EN ISO 5165                      |
| 8  | Abu Tersulfatkan                          | %-massa            |             | 0,02 | ISO 3987                         |
| 9  | Kandungan Air                             | mg/kg              |             | 500  | EN ISO 12937                     |
| 10 | Total Kontaminasi                         | mg/kg              |             | 24   | EN 12662                         |
| 11 | Korosi Lempeng Tembaga (3 jam<br>@ 50 °C) |                    | Class 1     |      | EN ISO 2160                      |
| 12 | Stabilitas Oksidasi, 110 °C               | Hours              | 6,0         |      | EN 14112                         |
| 13 | Angka Asam                                | mg-<br>KOH/kg      |             | 0,5  | EN 14104                         |
| 14 | Angka Iodium                              | g Iodine<br>/100g  |             | 120  | EN 14111                         |
| 15 | Gliserol Bebas                            | %-massa            |             | 0,02 | EN 14105/14106                   |
| 16 | Gliserol Total                            | %-massa            |             | 0,25 | EN 14105                         |
| 17 | Kandungan Methanol                        | %-massa            |             | 0,20 | EN 141110                        |
| 18 | Fosfor                                    | mg/kg              |             | 10,0 | EN 14107                         |

**Tabel 2.12 Spesifikasi (Syarat Mutu) Biodiesel Ester Alkil menurut SNI 04-7182-2006**

| No | Parameter  | Satuan             | Spesifikasi |                    | Metode Uji ASTM              |
|----|--|--------------------|-------------|--------------------|------------------------------|
|    |  |                    | Min         | Maks               |                              |
| 1  | Massa Jenis @ 40°C   | kg/m <sup>3</sup>  | 850         | 890                | ASTM D 1298                  |
| 2  | Viskositas Kinematik @ 40°C  | mm <sup>2</sup> /s | 2,3         | 6,0                | ASTM D 445                   |
| 3  | Angka Setana   | CN                 | 51          |                    | ASTM D 613                   |
| 4  | Titik Nyala (Mangkok Tertutup)   | °C                 | 100         |                    | ASTM D 93                    |
| 5  | Titik Kabut  | °C                 |             | 18                 | ASTM D 2500                  |
| 6  | Korosi Lempeng Tembaga (3 jam @ 50°C)                                    |                    |             | No.3               | ASTM D 130                   |
| 7  | Residu Karbon<br>- Dalam contoh asli atau<br>- Dalam 10% ampas distilasi | %-massa            |             | 0,05<br>0,30       | ASTM D 4530                  |
| 8  | Air dan sedimen  | %-vol              |             | 0,05 <sup>1)</sup> | ASTM D2709/D1796             |
| 9  | Temperatur Distilasi 90%   | °C                 |             | 360                | ASTM D 1160                  |
| 10 | Abu Tersulfatkan   | %-massa            |             | 0,02               | ASTM D 874                   |
| 11 | Belarang   | ppm-m<br>(mg/kg)   |             | 100                | ASTM D5453/D1266             |
| 12 | Fosfor   | ppm-m<br>(mg/kg)   |             | 10                 | AOCS Ca 12-55                |
| 13 | Angka Asam   | mg-KOH/kg          |             | 0,8                | ASTM D 664<br>AOCS Cd 3d-63  |
| 14 | Gliserol Bebas   | %-massa            |             | 0,02               | ASTM D 6584<br>AOCS Ca 14-56 |
| 15 | Gliserol Total   | %-massa            |             | 0,24               | ASTM D 6584<br>AOCS Ca 14-56 |
| 16 | Kadar Ester Alkil  | %-massa            | 96,5        |                    | Dihitung <sup>2)</sup>       |
| 17 | Angka Iodium   | %-massa            |             | 115                | AOCS Cd 1-25                 |
| 18 | Uji Halphen  |                    |             | Negatif            | AOCS Cd1-25                  |

<sup>1)</sup> Dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0,01%-vol

<sup>2)</sup> Dihitung:

$$\text{Kadar Ester (\%-massa)} = \frac{100 (As - Aa - 4,57 \text{ G tot})}{As}$$

Dimana:

- As adalah Angka Penyabunan (metode uji AOCS Cd 3-25)
- Aa adalah Angka Asam (metode uji ASTM D 664 atau AOCS cd 3-63, mg-KOH/g Biodiesel)
- G tot adalah Gliserol Total (metode uji AOCS Ca 14-56, %-massa)

### C. Aditif Bahan Bakar

Aditif bahan bakar adalah substansi kimia yang diformulasikan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi bahan bakar yang digunakan pada kendaraan bermotor dan membantu pembersihan bagian mesin seperti karburator, katup masuk dan *fuel injector*, mencegah pembakaran tidak sempurna, menurunkan temperatur beku dan titik bahan bakar, dan juga melindungi bagian mesin dari korosi yang menyebabkan akselerasi dan performa mesin lebih baik, memperbaiki *fuel economy* dan menurunkan emisi gas buang. Agen yang ditambahkan pada konsentrasi  $<1\%$  disebut sebagai aditif. Untuk substansi yang hadir pada konsentrasi yang lebih tinggi, merupakan komponen bahan bakar.

Berbagai jenis aditif bahan bakar yang berasal dari minyak bumi maupun bahan baku biomas dapat diklasifikasikan menjadi *metal-based*, oksigenat, dispersan, nitrogenat, agent *antiknock*, *lead scavengers* dan bahan bakar celup secara umum akan ditambahkan pada jumlah konsentrasi kecil untuk pencampuran bahan bakar.

#### 1. Jenis-Jenis Aditif

##### a. Aditif *Cetane Number*

Pengukuran *cetane number* untuk mengetahui kemampuan bahan bakar untuk terbakar secara otomatis ketika diinjeksikan ke dalam mesin dan salah satu sifat yang paling penting untuk menentukan kualitas pembakaran dari beberapa bahan bakar pada pembakaran internal mesin. Peningkatan *cetane number* menurunkan keterlambatan antara injeksi dan ignisi. Salah satu dari efek yang paling tampak dari

*cetane number* bahan bakar yang rendah adalah peningkatan kebisingan mesin.<sup>17</sup> Nilai dari *cetane number* juga mempengaruhi emisi NO<sub>x</sub> dan partikulat dari mesin diesel, banyak penelitian menjelaskan bahwa penurunan emisi NO<sub>x</sub> setara dengan kenaikan *cetane number*.

Pada penambahan, sejenis senyawa metil untuk meningkatkan *cetane number* pada tingkat yang lebih tinggi dari pada senyawa etil. Ini dapat disimpulkan bahwa senyawa mono-dianol poliamida yang telah diteliti meningkatkan *cetane number* dan juga mempunyai performa *cold-flow* yang bagus.

Tetrakis (dimetilamino) etilena menunjukkan performa terbaik, tetapi stabilitas oksidasi yang harus dievaluasi secara lebih rinci, karena sifat olefinnya. DME juga telah dianggap sebagai aditif untuk biodiesel dancampuran solar-biodiesel, karena angka setana yang tinggi.<sup>18</sup>

#### **b. Additif *Dust Reduction***

*Particulate matter* (PM) adalah istilah umum yang menggambarkan partikel kecil dalamudara ambien, seperti debu, partikel laut berasal, tetesan cairan, komponen kabut asapdan jelaga. PM dalam gas buang dari ruang pembakaran disebut sebagai debu.

---

<sup>17</sup>Nihanth chaluvadi, P Vijay, Rishi Venkant Ram Pauli, Yogeswar Dadi dan CH.V.V.N Pavan. 2013. *Diesel Engine Performance Improvement by Using Cetane Improver*.International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Vol. 2, Issue10. Hal 180.

<sup>18</sup>Hemant Kumar, dkk. 2012. *Enhancing Biodiesel Stability by Using Fuel Additives – A Review*.Fast Processing Peer Reviewed International Journals-IJRAE, IJRAP, IJRAW, IJRBPE, IJRCT, IJRED, IJRESA, IJRIVSP, IJRITS, IJRPSE, IJRA, IJRRES, IJRWSN – PBPC. Hal. 1-6.

Jelaga terdiri dari partikel sebagian kecil PM, karbon amorf dan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH). Jelaga menjadi bagian hitam karbon/asap ketika ada dalam ukuran partikel dan kuantitas yang memadai pada emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar hidrokarbon.  $PM_{2.5}$  adalah istilah yang digunakan untuk PM memiliki ukuran partikel kurang dari 2,5  $\mu m$ . Dalam udara bebas, partikulat diesel berkontribusi terhadap konsentrasi total dari total partikulat tersuspensi. Semua partikulat diesel dapat diklasifikasikan sebagai  $PM_{10}$ .

Partikulat diesel didefinisikan oleh USEPA sebagai 'semua senyawa yang dikumpulkan pada filter prakondisi yang terdilusi gas buang diesel pada suhu maksimum 325K. Partikulat ini terdiri dari inti jelaga (karbon) termasuk bahan anorganik, hidrokarbon teradsorpsi (atau fraksi organik larut),  $SO_3$  (atau asam sulfat) dan sedikit air. Ukuran bidang jelaga permolekul adalah sekitar 25 nm dan total partikel adalah sekitar 200 nm.

Efisiensi pembakaran dapat ditingkatkan hanya sampai batas tertentu dengan menggunakan pembakar yang dirancang dengan baik, kontrol yang akurat dan menggunakan bahan bakar berkualitas baik. Setelah pabrik dioptimalkan, satu-satunya cara untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi partikel dengan menambahkan aditif kimia untuk mengurangi emisi partikulat, yang baik berdasarkan pemanfaatan air dalam emulsi minyak yang membuat



atomisasi sekunder atau menggunakan katalis pembakaran yang meningkatkan laju oksidasi partikel jelaga. Biasanya, aditif ditambahkan sebagai senyawa organik atau logam dan menjadikan emisi sebagai oksida. Salah satu senyawa organik yang digunakan adalah dimetoksimetana dan dimetoksipropana, dapat menyebabkan penurunan kepadatan asap dan PM dalam emisi mesin diesel Kirloskar TV-I. Pengurangan ini maksimum hingga 3% dari sebelumnya dan 5% dari aditif kemudian digunakan dalam kombinasi dengan *diesel particulate trap*. Pada umumnya penggunaan aditif penurunan PM selalu berkaitan dengan aditif oksigenat karena penurunan PM bergantung pada kandungan oksigen yang terdapat didalam bahan bakar.<sup>19</sup>

### c. Aditif Oksigenat

Bahan bakar oksigenat tidak lebih dari bahan bakar yang memiliki senyawa kimia yang mengandung oksigen. Hal ini membantu untuk membakar bahan bakar lebih efisien dan mengurangi beberapa jenis polusi udara, juga dapat mengurangi emisi karbon monoksida yang mematikan dan pembentukan asap. Oksigenat bekerja dengan memungkinkan bahan bakar kendaraan untuk membakar lebih sempurna. Karena banyak bahan bakar yang terbakar, terdapat bahan kimia berbahaya yang dilepaskan ke atmosfer. Selain menjadi

---

<sup>19</sup>D.C. Kim, K.C. Song and R.D. Kaushik. 2008. *Review Fuel Additives for Particulate Matter/Dust Reduction*. Asian Journal of Chemistry Vol. 20 No.8. Hal 5797-5817.

pembakaran lebih bersih, bahan bakar oksigen juga membantu mengurangi jumlah konsumsi bahan bakar.<sup>20</sup>

Banyak peneliti telah melaporkan penambahan berbagai senyawa oksigen ke bahan bakar diesel dapat meningkatkan kualitas pembakaran. Beberapa senyawa oksigenat digunakan adalah etanol, ester asetoasetit dan ester asam dikarboksilat, etilena glikol Monoasetat, 2-hidroksi-etil ester, dietilen glikol dimetil eter, sorbitan mono-oleat dan poli-oksi-etilena sorbitan mono-oleat, dibutil maleat dan tripropilena glikol monometil eter, etanol dan dimetil eter, dimetil eter (DME), dimetil karbonat (DMC) dan metana dimetoksi, 1-oktilamino-3-oktiloksi-2-propanol dan N-oktil nitramina, dimetoksi pro-pana dan etana dimetoksi, *improvers cetane*, dan campuran metanol dan etanol.<sup>21</sup>

#### **d. Aditif Dispersan**

Minyak bahan bakar distilat mengandung lilin n-parafin yang cenderung terpisah dari minyak pada suhu rendah. Lilin umumnya mengkristal sebagai jaringan lembaran halus yang saling terkait, sehingga menjebak bahan bakar yang tersisa dan menyebabkan masalah *cold-flow* seperti penyumbatan saluran bahan bakar dan filter di sistem bahan bakar mesin.

---

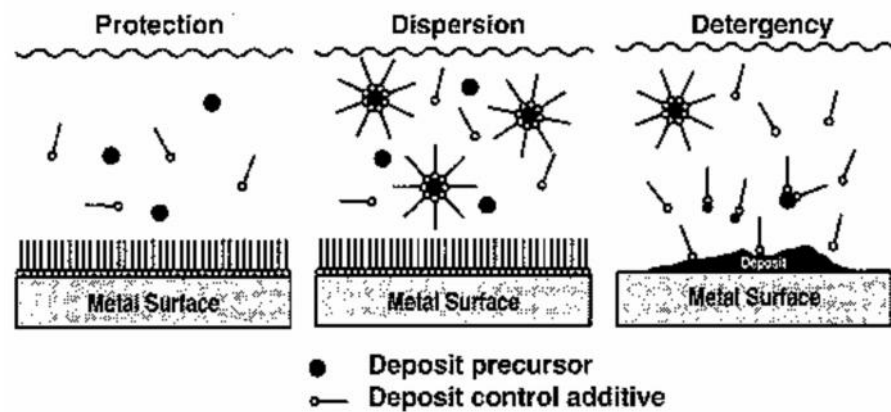
<sup>20</sup>A. R. Patil dan S. G. Taji. 2012. *Effect of Oxygenated Fuel Additive on Diesel Engine Performance and Emission: A Review*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). Hal. 30-35.

<sup>21</sup>Nihanth chaluvadi, P Vijay, Rishi Venkant Ram Pauli, Yogeswar Dadi dan CH. V. V. N Pavan. *Op. Cit.*, Hal. 180.

Penambahan aditif dispersan dirancang untuk menjaga sistem bahan bakar secara keseluruhan benar-benar bersih dan bebas dari materi asing. Aditif dispersan telah diperkenalkan selama periode waktu untuk mengatasi masalah-masalah tertentu, tetapi masalah umum adalah deposit dalam sistem inlet udara/bahan bakar yang berjalan tidak merata, dan perbandingan bahan bakar dengan udara yang mempengaruhi daya, *driveability*, keekonomisan bahan bakar dan emisi. Bahan kimia yang digunakan meliputi amida, amina, amina karboksilat, suksinimida polibutena, amina polieter dan amina poliolefin. Nilai perlakuan bervariasi, dengan deterjen yang bertindak untuk mendispersi prekursor deposit dan membawa menuju dalam film cair yang sangat tipis ke dalam ruang pembakaran. Banyak aditif jenis ini yang digunakan bersamaan dengan cairan pembawa seperti polyalphaolefins, polieter, minyak mineral dan ester.

Aditif dispersan umumnya rantai hidrokarbon panjang yang melekat yang memiliki kepala polar. Prekursor deposit tertarik ke molekul mengendalikan deposit, dan menjadi terikat pada *miscelle* dispersan. Pada suhu operasi normal aditif dispersan adalah cairan yang membentuk lapisan tipis di seluruh sistem inlet. Lapisan tipis didorong maju oleh aliran uap udara dan bahan bakar, tetapi membentuk penghalang pada baris pertama sebagai deposit prekursor serta dispersan/*neutraliser* prekursor melindungi permukaan logam.

Dalam hal ini lapisan tipis dari aditif bertindak sebagai deterjen yang membersihkan permukaan logam.



**Gambar 2.2 Cara Kerja Utama Aditif Dispersan**

#### **D. Minyak Atsiri**

Minyak atsiri merupakan campuran kompleks dari senyawa-senyawa volatil yang dihasilkan dari makhluk hidup dan diisolasi dengan alat-alat fisik (tekanan dan distilasi) dari keseluruhan tanaman atau bagian tanaman yang diketahui asal taksonominya. Masing-masing senyawa utama berasal dari jalan biosintesis, jalur mevalonat untuk menghasilkan seskuiterpen, jalur metil-erithrytol untuk menghasilkan mono- dan diterpen, dan jalur asam sikimat untuk menghasilkan penilpropena. Namun, ada banyak jumlah yang tidak diketahui dari substansi tunggal dan besar sekali komposisi dari minyak atsiri. Banyak dari zat-zat volatil memiliki fungsi biologi yang beragam.

Semua tanaman pada prinsipnya memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa volatil, namun sering kali hanya dalam jumlah kecil. Dua keadaan utama menentukan tanaman yang akan digunakan sebagai tanaman

minyak atsiri yaitu campuran senyawa volatil yang khas, sekresi dan akumulasi senyawa volatil pada struktur anatomi tertentu.

Idioblasts sekretori adalah sel-sel individual menghasilkan minyak esensial dalam jumlah besar dan mempertahankannya yang terjadi dalam lapisan kortikal dan dekat dengan endodermis.

### **1. Sifat-Sifat Minyak Atsiri**

Sifat-sifat minyak atsiri tersusun bermacam-macam komponen senyawa yang memiliki bau khas, umumnya bau ini mewakili bau tanaman asalnya. Bau minyak atsiri satu dengan yang lain berbeda-beda, sangat tergantung dari macam dan intensitas bau dari masing-masing komponen penyusunnya.

Dalam keadaan murni (belum tercemar oleh senyawa lain) mudah menguap pada suhu kamar. Bersifat tidak stabil terhadap pengaruh lingkungan, baik pengaruh oksigen udara, sinar matahari (terutama gelombang ultra violet) dan panas, karena terdiri dari berbagai macam komponen penyusun. Bersifat optis aktif dan memutar bidang polarisasi dengan rotasi yang spesifik karena banyak komponen penyusunnya memiliki atom C asimetrik, juga mempunyai indeks bias yang tinggi. Pada umumnya tidak dapat bercampur dengan air, dapat larut walaupun kelarutannya sangat kecil, tetapi sangat mudah larut dalam pelarut organik.

### **2. Produksi Minyak Atsiri**

Hasil minyak atsiri sangat bervariasi dan sulit untuk memprediksi. Hasil panen minyak tertinggi biasanya yang terkait dengan getah balsem

dan exudasi damar tanaman yang sejenis, seperti gurjun, copaiba, elemi, dan peru balsam, di mana mereka dapat mencapai 30-70%. Tunas cengkeh dan pala dapat menghasilkan antara 15% dan 17% minyak atsiri, sementara contoh lain layak disebutkan adalah kapulaga (sekitar 8%), nilam (3,5%) dan adas pedas, adas bintang manis, biji jintan, dan biji cumin (1-9%). Hasil minyak yang jauh lebih rendah diperoleh dengan juniper berry, di mana 75 kg buah yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg minyak, sage (sekitar 0,15%), dan minyak daun lainnya seperti geranium (juga sekitar 0,15%). 700 kg kelopak mawar akan menghasilkan 1 kg minyak dan 1000 kg jeruk pahit bunga diperlukan untuk produksi juga hanya 1 kg minyak. Hasil panen dari menyatakan kulit minyak buah, seperti bergamot, jeruk, dan lemon bervariasi dari 0,2% menjadi sekitar 0,5%.

Sejumlah faktor agronomis penting yang harus dipertimbangkan sebelum memulai produksi minyak atsiri, seperti iklim, jenis tanah, pengaruh kekeringan dan tekanan air dan tekanan yang disebabkan oleh serangga dan mikroorganisme, propagasi (biji atau klon), dan praktek budidaya. Faktor penting yang lain termasuk pengetahuan yang tepat pada bagian mana dari biomassa yang akan digunakan, lokasi sel minyak dalam tanaman, waktu panen, metode pemanenan, penyimpanan, dan persiapan biomassa sebelum ekstraksi minyak esensial.

Seperti telah disebutkan, sel-sel yang mengandung minyak esensial dapat terletak di berbagai bagian dari tanaman. Dua jenis sel minyak esensial diketahui, sel-sel permukaan, misalnya, kelenjar rambut yang

terletak pada permukaan tanaman, umum di beberapa tumbuh-tumbuhan seperti oregano, mint, lavender dan seterusnya, dan sel-sel tertanam dalam jaringan tanaman, terjadi pada sel terisolasi yang mengandung sekresi (seperti dalam buah jeruk dan daun kayu putih), atau sebagai lapisan sel yang mengelilingi ruang intrasel (kanal atau rongga sekretori), misalnya, kanal getah pinus.

Pada proses penyulingan terjadi pemisahan komponen yang berupa cairan atau padatan dari dua macam campuran atau lebih, berdasarkan titik didihnya. Pada awal proses penyulingan, komponen-komponen yang bertitik didih lebih rendah akan tersuling terlebih dahulu, yang kemudian disusul oleh komponen-komponen yang mempunyai titik didih lebih tinggi. Rendemen dan mutu dari minyak atsiri hasil penyulingan tergantung kepada kualitas bahan baku yang disuling dan perlakuan sebelum dan selama proses penyulingan.

### **3. Komposisi Minyak Atsiri**

Pada umumnya perbedaan komposisi minyak atsiri disebabkan perbedaan jenis tanaman penghasil, kondisi iklim, tanah tempat tumbuh, umur panen, metode ekstraksi yang digunakan dan cara penyimpanan minyak.

Minyak atsiri biasanya terdiri dari berbagai campuran persenyawaan kimia yang terbentuk dari unsur Karbon (C), Hidrogen (H), dan oksigen (O). Pada umumnya komponen kimia minyak atsiri dibagi

menjadi dua golongan yaitu: 1) Hidrokarbon, yang terutama terdiri dari persenyawaan terpen dan 2) Hidrokarbon teroksigenasi.

**a. Golongan Hidrokarbon**

Persenyawaan yang termasuk golongan ini terbentuk dari unsur Karbon (C) dan Hidrogen (H). Jenis hidrokarbon yang terdapat dalam minyak atsiri sebagian besar terdiri dari monoterpen (2 unit isopren), sesquiterpen (3 unit isopren), diterpen (4 unit isopren) dan politerpen.

**b. Golongan Hidrokarbon Teroksigenasi**

Komponen kimia dari golongan persenyawaan ini terbentuk dari unsur Karbon (C), Hidrogen (H) dan Oksigen (O). Persenyawaan yang termasuk dalam golongan ini adalah persenyawaan alkohol, aldehid, keton, ester, eter, dan fenol. Ikatan karbon yang terdapat dalam molekulnya dapat terdiri dari ikatan tunggal, ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga. Terpen mengandung ikatan tunggal dan ikatan rangkap dua.

Senyawa terpen memiliki aroma kurang wangi, sukar larut dalam alkohol encer dan jika disimpan dalam waktu lama akan membentuk resin. Golongan hidrokarbon teroksigenasi merupakan senyawa yang penting dalam minyak atsiri karena umumnya aroma yang lebih wangi. Fraksi terpen perlu dipisahkan untuk tujuan tertentu, misalnya untuk pembuatan parfum, sehingga didapatkan minyak atsiri yang bebas terpen.



#### **4. Minyak Atsiri Sereh Wangi**

Salah satu penghasil minyak atsiri adalah sereh wangi. Tanaman sereh wangi tumbuh berumpun dengan tinggi sekitar 50-100 cm. Daun tunggal berjumbai, panjang sampai 1 meter, lebar 1,5 cm, bagian bawahnya agak kasar, tulang daun sejajar. Batang tidak berkayu, berusuk-rusuk pendek, dan berwarna putih. akarnya serabut. Perbanyakan dilakukan dengan pemisahan stek anakan.

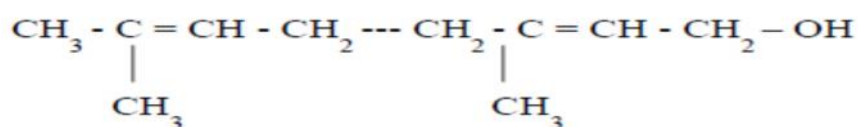
Umumnya akan tumbuh di daerah dengan ketinggian rendah sampai dengan 4.000 m dpl. Namun pertumbuhan akan optimal pada areal dengan jenis tanah aluvial yang subur pada ketinggian sampai 2.500 m dpl, beriklim lembab dengan curah hujan merata sepanjang tahun. Iklim yang sesuai adalah yang mempunyai curah hujan 1.800-2.500 mm per tahun dengan distribusi yang merata dalam waktu 10 bulan. Derajat keasaman (pH) sereh wangi yang disukai 6-7,5. Perbanyakan tanaman yang paling mudah adalah dengan pemecahan rumpun tanaman dewasa. Sereh wangi yang akan diambil minyak atsirinya agar dipangkas sebelum munculnya bunga, karena jika bunganya sudah muncul maka mutu minyaknya akan lebih rendah.

Komponen kimia dalam minyak sereh wangi cukup kompleks, namun komponen yang terpenting adalah sitronellal dan geraniol. Kedua komponen tersebut menentukan intensitas bau, harum, serta nilai harga minyak sereh wangi. Kadar komponen kimia penyusun utama minyak sereh wangi tidak tetap, dan tergantung pada beberapa faktor. Biasanya

jika kadar geraniol tinggi maka kadar sitronellal juga tinggi. Kandungan utama yang terdapat pada sereh wangi adalah geraniol dan sitronellal. Dua senyawa ini mempengaruhi kualitas minyak sereh wangi yang dihasilkan. Apabila kandungan geraniol tinggi, maka kandungan sitronellal juga tinggi.

**a. Geraniol (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O)**

Geraniol merupakan persenyawaan yang terdiri dari 2 molekul isoprene dan 1 molekul air. Geraniol dapat dioksidasi menjadi sitral dan senyawa ini digunakan pada pabrik pembuatan ionon. Alfa-ionon digunakan secara ekstensif dalam pewangi karena baunya yang mirip dengan bunga violet. Geraniol lebih lanjut digunakan dalam pembuatan nerolidol dan farnesol.



**Gambar 2.3 Rumus Bangun Geraniol**

**b. Sitronellal (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O)**

Sitronellal merupakan senyawa penting yang terdapat pada sereh wangi. Kandungan sitronellal tinggi, maka kandungan geraniol juga tinggi. Penggunaan yang penting sitronellal adalah untuk pembuatan hidroksi sitronellal melalui hidrasi. Senyawa hidroksi sitronellal tidak diperoleh secara alami tetapi senyawa tersebut merupakan senyawa sintetik yang paling penting dalam pewangian. Senyawa tersebut

memiliki bau yang harum seperti *floral-lily* dan digunakan secara luas dalam pewangi untuk sabun dan kosmetik.

Standar mutu minyak sereh wangi untuk kualitas ekspor dapat dianalisis berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3953-1995. Menurut kriteria fisis yaitu berdasarkan warna, bobot jenis, indeks bias, sedangkan secara kimia berdasarkan total geraniol, total sitronellal, dan kelarutan dalam etanol 80%.

**Tabel 2.13 Spesifikasi Minyak Atsiri Sereh Wangi Berdasarkan SNI 06-3953-1995**

| No | Jenis Uji                  | Syarat Mutu                           |
|----|----------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Warna                      | Kuning pucat sampai kuning kecoklatan |
| 2  | Berat Jenis                | 0.880-0.922                           |
| 3  | Putaran optik              | (0) – (-6)                            |
| 4  | Indeks Bias                | 1.466 -1.475                          |
| 5  | Total geraniol             | Min. 85 %                             |
| 6  | Sitronellal (b/b)          | Min. 35 %                             |
| 7  | Kelarutan dalam etanol 80% | 1:2 jernih, seterusnya jernih         |

## 5. Minyak Atsiri Nilam

Minyak nilam tergolong dalam minyak atsiri dengan komponen utamanya adalah patchoulol. Daun dan bunga nilam mengandung minyak ini, tetapi orang biasanya mendapatkan minyak nilam dari penyulingan uap terhadap daun keringnya (seperti pada minyak cengkeh).

Minyak nilam berasal dari tanaman nilam (*Pogestemon cablin*), berupa semak dan dapat tumbuh diberbagai jenis tanah (andosol, latosol, regosol, podsolik, dan grumusol) dengan tekstur lempung, liat berpasir dengan drainase yang baik dan pH tanah 5-7. Tanaman ini membutuhkan curah hujan atau ketersediaan air yang cukup dengan suhu 24-28 °C.

Indonesia merupakan negara tropis yang mempunyai curah hujan dan kelembaban yang cukup tinggi, oleh karena itu tanaman nilam dapat tumbuh baik.

Minyak nilam terdiri dari komponen-komponen yang bertitik didih tinggi sehingga sangat baik dipakai sebagai zat pengikat dalam industri parfum dan dapat membentuk aroma yang harmonis. Zat pengikat adalah suatu persenyawaan yang mempunyai daya menguap lebih rendah atau titik uapnya lebih tinggi daripada zat pewangi sehingga kecepatan penguapan zat pewangi dapat dikurangi atau dihambat.

Kandungan yang terdapat dalam minyak nilam meliputi, patchouli alkohol, eugenol, benzaldehida, sinamit aldehida, dan sadinena. Namun komponen yang paling menentukan mutu minyak nilam adalah patchouli alkohol ( $C_{15}H_{26}O$ ) karena merupakan penciri utama. Patchouli alkohol merupakan sesquiterpene alkohol yang dapat diisolasi dari minyak nilam. Tidak larut dalam air, larut dalam alkohol, eter atau pelarut organik yang lain. Mempunyai titik didih  $280,37^{\circ}C$  dan kristal yang terbentuk mempunyai titik lebur  $56^{\circ}C$ .

Standar mutu minyak nilam untuk kualitas ekspor dapat dianalisis berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2388-2006 Menurut kriteria fisis yaitu berdasarkan warna, bobot jenis, indeks bias, putaran optik sedangkan secara kimia berdasarkan total patchouli alkohol, total alpha kopaena, kandungan besi, bilangan asam, bilangan ester dan kelarutan dalam etanol 90%.

**Tabel 2.14 Spesifikasi Minyak Atsiri Nilam Berdasarkan SNI 06-2388-2006**

| <b>No</b> | <b>Jenis Uji</b>           | <b>Syarat Mutu</b>                         |
|-----------|----------------------------|--|
| 1         | Warna                      | Kuning muda sampai coklat kemerahan        |
| 2         | Berat Jenis                | 0.950 -1.650                               |
| 3         | Putaran optik              | (- 48) – (-65)                             |
| 4         | Indeks Bias                | 1.507 -1.515                               |
| 5         | Patchouli Alkohol          | Min. 30%                                   |
| 6         | Alpha kopaena              | Maks. 0.5%                                 |
| 7         | Kelarutan dalam etanol 90% | 1:10 larutan jernih atau opalesensi ringan |